

## Применение технологий информационного моделирования при обследовании и мониторинге деревянных конструкций объектов культурного наследия

*Т.В. Потапова*

*Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет*

**Аннотация:** В настоящей статье освещены вопросы применения технологий информационного моделирования (ТИМ или BIM) при проведении обследований и мониторинга технического состояния объектов культурного наследия, построенных с применением деревянных конструкций. Проанализированы преимущества создания и ведения информационной модели исторических зданий и сооружений. Рассмотрены особенности построения трехмерной модели объектов сложной геометрии и с переменным сечением элементов, вопросы создания системы раннего предупреждения о деградации свойств конструкций. Приведены примеры работ по обследованию и мониторингу исторических зданий с применением древесины, выполненные в РФ и за рубежом. Сделаны выводы о необходимости дальнейшей интеграции ТИМ с программными комплексами и приборами, используемыми при проведении неразрушающего контроля, создания библиотеки дефектов строительных конструкций.

**Ключевые слова:** деревянная конструкция, дефект, древесина, информационное моделирование, мониторинг, неразрушающий контроль, обследование, памятник архитектуры, техническое состояние, BIM.

Одним из наиболее активно развивающихся направлений в строительной отрасли в настоящий момент является внедрение технологий информационного моделирования (ТИМ или BIM – building information modeling) зданий и сооружений. Согласно Постановлению Правительства РФ от 05.03.2021 г. №331, с 1 января 2022 г. для объектов капитального строительства, возводимых или реконструируемых с привлечением государственного финансирования, формирование и ведение (актуализация) информационной модели являются обязательными.

Информационная модель включает в себя не только трехмерное изображение здания, но и сведения о прочностных характеристиках конструкций, свойствах материалов, параметрах выявленных дефектов и повреждений, изменениях, произведенных в результате ремонта или

реконструкции. Данные обновляются на всех этапах жизненного цикла объекта.

Использование ТИМ открывает новые возможности в процессе не только проектирования и строительства, но и эксплуатации зданий и сооружений [1]. В данной работе анализируется применение ТИМ при проведении обследований и мониторинга технического состояния объектов культурного наследия, возведенных с применением деревянных конструкций.

Информационная модель позволяет сохранить и структурировать сведения о климатических факторах района строительства, историческом контексте, культурном ландшафте, мерах, направленных на защиту и сохранение объекта культурного наследия [2].

При создании информационной модели исторического здания сложность представляет возможное отсутствие или утрата чертежей и сведений о конструктивных решениях и материалах. Источниками данных могут выступать сохранившиеся отдельные рисунки, фотографии и описания. При этом, при строительстве объектов культурного наследия могли использоваться уникальные конструкции и технологии, а также неоднородные материалы.

Важной задачей является точное моделирование элементов. Форма и площадь их поперечного сечения могут меняться по длине в связи с применявшимися на момент постройки здания технологиями изготовления, а также в результате деструкции древесины.

В основу создания трехмерной модели здания могут быть положены материалы визуального обследования и результаты, полученные с использованием методов неразрушающего контроля. Определить фактические размеры элементов также помогает применение технологий лазерного сканирования и фотограмметрии.

---

Примером может служить обследование стропильных ферм замка Гимарайнш в Португалии, признанного объектом всемирного наследия ЮНЕСКО [3]. С помощью наложения облаков точек, полученных по результатам лазерного сканирования в 2014 и 2019 годах, были сделаны выводы об отсутствии активного процесса гниения древесины. При этом для уточнения размеров сечений элементов использовались результаты визуального обследования и испытаний древесины на сопротивление сверлению.

Использование технологий информационного моделирования позволяет строить трехмерные модели объектов, которые обладают сложной геометрией. Для исторических зданий интерес представляет не только воссоздание их облика в различные годы, но и виртуальная реконструкция в случае, когда объект культурного наследия был утрачен. Одним из таких примеров является построение модели Братского острога XVII века, одна из сохранившихся башен которого в настоящее время находится в Музее деревянного зодчества в усадьбе Коломенское в Москве. С помощью современных программных комплексов становится возможным точное изображение уникальных резных декоративных элементов, оконных и дверных проемов [4].

Ведение информационной модели объекта капитального строительства позволяет упорядочивать и сохранять сведения обо всем комплексе ранее выполненных работ и в любой момент получать информацию о результатах проведенных обследований технического состояния [5]. По материалам обследования, модель дополняется сведениями о наличии, местах расположения и параметрах дефектов и повреждений, их фотографиями, данными, полученными в ходе мониторинга, результатами поверочных расчетов. В результате, устраняется необходимость в повторном выполнении обмеров и изысканий в связи с утратой документации [6].

---

Применение ТИМ при проведении мониторинга технического состояния зданий и сооружений позволяет удаленно получать сведения о состоянии конструкций в реальном времени. В составе информационной модели можно отобразить все датчики, установленные на объекте [7].

Задание граничных значений измеряемых параметров позволяет создать систему раннего предупреждения о структурных повреждениях, деградации свойств конструкций или значительных изменениях в их состоянии. Для корректного определения критериев раннего предупреждения необходимо проанализировать данные, полученные в результате наблюдения за большим количеством исторических деревянных зданий. При этом может оцениваться изменение среднего значения показателя или разницы между двумя измерениями. При получении предупреждения принимается решение о необходимости проведения обследования и усиления конструкций. Сравнение данных мониторинга и поверочных расчетов позволяет установить причины возникновения дефектов и повреждений.

Данная технология применялась при мониторинге деревянного павильона, построенного в начале XVI века в Китае [7]. По результатам анализа причин поступления предупреждений был сделан вывод о том, что сигналы возникали в результате атмосферных воздействий, основными из которых являлись температура и ветер. Был сделан вывод о безопасности эксплуатации и стабильности конструкций здания.

Актуальным направлением развития в области использования ТИМ при обследовании зданий и сооружений является создание библиотеки дефектов и повреждений строительных конструкций с возможностью автоматизированного оформления ведомости дефектов [8]. Важным вопросом остается дальнейшая интеграция ТИМ с программным обеспечением и приборами, используемыми при проведении обследований и испытаний методами неразрушающего контроля, для сокращения временных

---

затрат и трудоемкости в процессе построения трехмерной модели объекта [9]. При изучении деревянных исторических зданий особый интерес представляет совместное использование ТИМ и геоинформационных систем (ГИС) для максимально точного воссоздания геометрии конструкций [10].

Развитие технологий информационного моделирования дает возможность для улучшения качества работ по сохранению объектов культурного наследия и сведений, помогающих подчеркнуть их историческую, культурную и эстетическую ценность.

### Литература

1. Петров К.С., Швец Ю.С., Корнилов Б.Д. и др. Применение BIM-технологий при проектировании и реконструкции зданий и сооружений // Инженерный вестник Дона, 2018, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5255](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5255).

2. Castellano-Román M., Pinto-Puerto F. Dimensions and levels of knowledge in Heritage Building Information Modelling, HBIM: The model of the Charterhouse of Jerez (Cádiz, Spain) // Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage, 2019, vol. 14 URL: [doi.org/10.1016/j.daach.2019.e00110](https://doi.org/10.1016/j.daach.2019.e00110).

3. Mol A., Cabaleiro M., Sousa H. S. et al. HBIM for storing life-cycle data regarding decay and damage in existing timber structures // Automation in Construction, 2020, vol. 117 URL: [doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103262](https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103262).

4. Бессонова Н.В. Информационное моделирование уникальных зданий, сооружений и памятников архитектуры // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: Материалы V Международной научно-практической конференции. СПб: СПбГАСУ, 2022. С. 110-121. URL: [doi.org/10.23968/BIMAC.2022](https://doi.org/10.23968/BIMAC.2022).

5. Шеина С.Г., Виноградова Е.В., Денисенко Ю.С. Пример применения BIM технологий при обследовании зданий и сооружений // Инженерный вестник Дона, 2021, №6. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2021/7037](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2021/7037).

6. Черных А.Г., Нижегородцев Д.В., Корольков Д.И. Оценка остаточного ресурса объектов деревянного домостроения с применением технологии информационного моделирования // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: Материалы V Международной научно-практической конференции. СПб: СПбГАСУ, 2022. С. 198-204. URL: [doi.org/10.23968/BIMAC.2022](https://doi.org/10.23968/BIMAC.2022).

7. Wang J., You H., Qi X. et al. BIM-based structural health monitoring and early warning for heritage timber structures // Automation in Construction, 2022, vol. 144 URL: [doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104618](https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104618).

8. Чаганов А.Б., Воинский И.И., Шалагинова Е.В. Работа с информационной моделью при обследовании зданий и сооружений // BIM. Проектирование. Строительство. Эксплуатация: Материалы Всероссийского форума. Воронеж: ФГБОУ ВО ВГТУ, 2018. С. 69-73. URL: [bim.cchgeu.ru/upload/events/bim/BIM-2018.pdf](http://bim.cchgeu.ru/upload/events/bim/BIM-2018.pdf).

9. Tejedor B., Lucchi E., Bienvenido-Huertas D. et al. Non-destructive techniques (NDT) for the diagnosis of heritage buildings: Traditional procedures and future perspectives // Energy & Buildings, 2022, vol. 263. URL: [doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112029](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112029).

10. Yang X., Grussenmeyer P., Koehl M. et al. Review of built heritage modelling: Integration of HBIM and other information techniques // Journal of Cultural Heritage, 2020, vol. 46, pp. 350-360. URL: [doi.org/10.1016/j.culher.2020.05.008](https://doi.org/10.1016/j.culher.2020.05.008).

### References

1. Petrov K.S., Shvets Y.S., Kornilov B.D. et al. Inzhenernyj vestnik Dona, 2018, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5255](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5255).

2. Castellano-Román M., Pinto-Puerto F. Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage, 2019, vol. 14. URL: [doi.org/10.1016/j.daach.2019.e00110](https://doi.org/10.1016/j.daach.2019.e00110).

3. Mol A., Cabaleiro M., Sousa H. S. et al. Automation in Construction, 2020, vol. 117 URL: doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103262.
4. Bessonova N.V. BIM-modelirovanie v zadachakh stroitel'stva i arkhitektury: Materialy V Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [BIM in Construction & Architecture: Proceedings of V International Scientific and Practical Conference]. SPb: SPbGASU, 2022. Pp. 110-121. URL: doi.org/10.23968/BIMAC.2022.
5. Sheina S.G., Vinogradova E.V., Denisenko Yu.S. Inzhenernyj vestnik Dona, 2021, №6. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2021/7037.
6. Chernykh A.G., Nizhegorotsev D.V., Korolkov D.I. BIM-modelirovanie v zadachakh stroitel'stva i arkhitektury: Materialy V Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [BIM in Construction & Architecture: Proceedings of V International Scientific and Practical Conference]. SPb: SPbGASU, 2022. Pp. 198-204 URL: doi.org/10.23968/BIMAC.2022.
7. Wang J., You H., Qi X. et al. Automation in Construction, 2022, vol. 144 URL: doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104618.
8. Chaganov A.B., Voinskiy I.I., Shalaginova E.V. BIM. Proektirovanie. Stroitel'stvo. Ekspluatatsiya: Materialy Vserossiyskogo foruma [BIM. Design. Construction. Operation: Proceedings of All-Russian Forum]. Voronezh: VSTU, 2018. Pp. 69-73. URL: bim.cchgeu.ru/upload/events/bim/BIM-2018.pdf.
9. Tejedor B., Lucchi E., Bienvenido-Huertas D. et al. Energy & Buildings, 2022, vol. 263. URL: doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112029.
10. Yang X., Grussenmeyer P., Koehl M. et al. Journal of Cultural Heritage, 2020, vol. 46, pp. 350-360. URL: doi.org/10.1016/j.culher.2020.05.008.